

Norbert JENDŽELOVSKÝ¹, Ľubomír BALÁŽ²

MODELOVANIE DYNAMICKÉHO ZATAŽENIA VALCOVÝCH NÁDRŽÍ

MODELING OF THE DYNAMIC LOAD OF CYLINDRICAL TANKS

Abstrakt

Tento príspevok sa zaoberá výpočtom vnútorných síl a deformácií valcovej nádrže od účinkov dynamického namáhania, ktoré je reprezentované seizmickým zaťažením. Zaťaženie bolo modelované dvomi metódami a to pomocou spektra odozvy - model M1 a v druhom prípade podľa normy STN EN 1998-4 -model M2.

Kľúčové slová

valcová nádrž, seizmické zaťaženie, metóda konečných prvkov, vnútorné sily, deformácie

Abstract

In this paper two types of calculating methods of internal forces and deformations of cylindrical tank due to seismic load are presented. The loading was modelled by two different methods: either by means the seismic response spectrum (Model M1), or according to the standard STN EN 1998-4 (Model M2).

Keywords

Cylindrical tank, seismic load, finite element method, internal forces, deformation.

1 SEIZMICKÉ ZATAŽENIE

Seizmické účinky na stavebné konštrukcie sú vyvolané kmitaním podlažia a tým aj základov danej konštrukcie. Dynamickým zaťažením, resp. seizmickým zaťažením kruhových nádrží sa zaoberajú vo svojich prácach viacerí autori: [1, 3, 4, 6, 7].

2 ZÁKLADNÉ A NÁVRHOVÉ SEIZMICKÉ ZRÝCHLENIE

Jednou z prvoradých charakteristík, ktorou je definované seizmické zaťaženie je hodnota tzv. základného seizmického zrýchlenia a_{gR} , čo je zrýchlenie na povrchu skalného podlažia, ktoré zodpovedá zemetraseniu s periódou návratnosti 475 rokov so súčiniteľom dôležitosti objektu $\gamma = 1,0$. Základné seizmické zrýchlenie je určené pre konštrukcie s priemernou dobou životnosti 50 rokov.

¹ Prof. Ing. Norbert Jendzelovský, PhD., Slovenská technická univerzita, Stavebná fakulta, Katedra stavebnej mechaniky, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, Slovenská republika, e-mail: norbert.jendzelovsky@stuba.sk

² Ing. Ľubomír Baláž, Slovenská technická univerzita, Stavebná fakulta, Katedra stavebnej mechaniky, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, Slovenská republika, e-mail: lubomir.balaz@stuba.sk.

Pravdepodobnosť jeho prekročenia za 50 rokov je 10%. Toto seizmické zrýchlenie je dané v mape oblasti seizmického rizika pre územie Slovenska, ktorá je uvedená v národnej prílohe seizmickej normy [10]. Hodnoty zrýchlenia pre územie Slovenska sú dane pre 4 územné oblasti hodnotami 0.40 , 0.65, 0.80, 1.10 ms⁻².

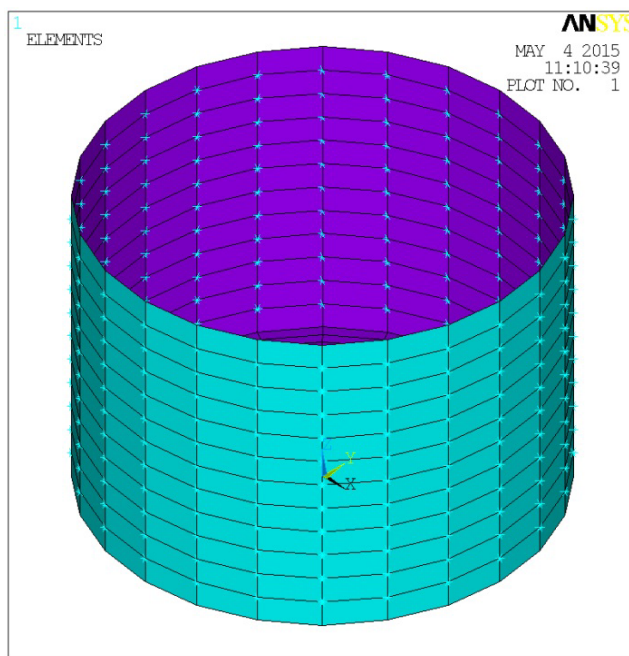
V práci prezentujeme valcovú nádrž, ktorej náplňou bola voda s mernou tiažou $\gamma = 10 \text{ kNm}^{-3}$. Podobne sme analyzovali aj valcové nádrže na výrobu bioplynu, kde sa biomasa uvažovala s mernou tiažou $\gamma = 8.5$ až 9.0 kNm^{-3} .

Tú istú nádrž sme analyzovali v dvoch výpočtových modeloch. Tieto dva modely sa odlišovali spôsobom zaťaženia pri seizmickom výpočte. Prvý model (M1) mal hmotu náplne rovnomerne rozdelenú do hmotných bodov konštrukcie. Celková hmotná náplne bola rozdelená rovnomerne do 264 bodov na stene nádrže. Druhý model (M2) riešil úlohu pomocou kvázi statického zaťaženia. Zaťažovacie obrazce hydrodynamických tlakov boli vypočítané na základe vzťahov uvedených v norme [11]. Boli použité vzťahy pre impulznú časť kmitajúcej hmoty.

Samotná konštrukcia valcovej nádrže bola pre oba modely zhodná. Konštrukcia bola modelovaná pomocou metódy konečných prvkov. Spodná kruhová doska nádrže bola riešená ako 24 uholník. Typ konečného prvku bol taký istý ako pre steny nádrže. Konečný prvok pre valcové steny nádrže bol štvoruzlový škupinový prvok so šiestimi stupňami voľnosti v jednotlivých uzloch.

3 VÝPOČTOVÝ MODEL VALCOVEJ NÁDRŽE

Ako podklad pre výpočtový model bola použitá reálna valcová nádrž s vnútorným priemerom 8,23m. Hrúbka steny je konštantná po výške $t = 400 \text{ mm}$. Celková výška steny 6,0 m. Kruhové dno nádrže s konštantnou hrúbkou $h = 400 \text{ mm}$ (obr. 2). Materiál nádrže bol uvažovaný betón C25/30, čomu odpovedali materiálové vlastnosti betónu zadané do výpočtového modelu. Okrajové podmienky uloženia dna nádrže boli dvojaké: pevné podopretie alebo pružné podopretie - modelované Winklerovskými pružinami. V príspevku sú uvedené výsledky pre pevné podopretie dna nádrže. Výpočtový model konštrukcie bol urobený pomocou MKP vo výpočtovom prostredí Ansys.



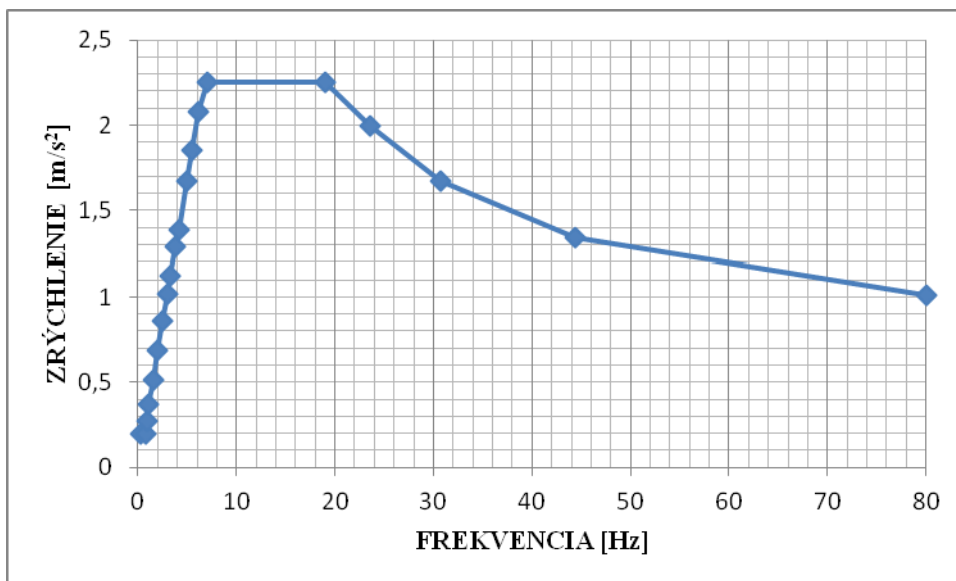
Obr.1: Model valcovej nádrže

3.1 Model M1

V tomto modeli išlo o hmotu náplne rozdelenú do steny nádrže. Postupovali sme klasickou metódou. Najprv modálna analýza, kde bola použitá Lanczos-ova metóda na výpočet vlastných tvarov a vlastných frekvencií. Následne bola použitá spektrálna analýza.

V spektrálnej analýze bola valcová nádrž zaťažená pomocou spektra odozvy (obr.2). Metóda seizmického výpočtu zo spektra odozvy je jedna z možných metód výpočtu.

Spektrum použité vo výpočte je definované pre návrhové zrýchlenie $a_g = 1,0 \text{ m/s}^2$ a kategóriu podlažia B. Podrobný popis zadefinovania spektra odozvy je uvedený v literatúre [10].



Obr.2: Použité návrhové spektrum odozvy

3.2 Model M2

Pohyb kvapalnej náplne v tuhom valci možno vyjadriť ako súčet dvoch oddelených príspevkov – „**tuhého impulzu**“ a „**konvekcie**“. Pre výpočet kvázi statického zaťaženia od zaťaženia kvapalinou pri určitom zrýchlení sa pre nádrže valcového tvaru používa cylindrický súradnicový systém r, z, θ so začiatkom v strede dna nádrže a vertikálnou osou z . Výška nádrže po voľný povrch kvapaliny je označená ako H , polomer nádrže je R , ρ je objemová hmotnosť kvapaliny a $\xi = r/R$, $\varsigma = z/H$ sú bezrozmerné súradnice.

Pre model M2 bolo hydrodynamické zaťaženie vypočítané podľa postupu, ktorý je bližšie uvedený v norme STN EN 1998-4, príloha A – Postupy seizmického výpočtu nádrží [11].

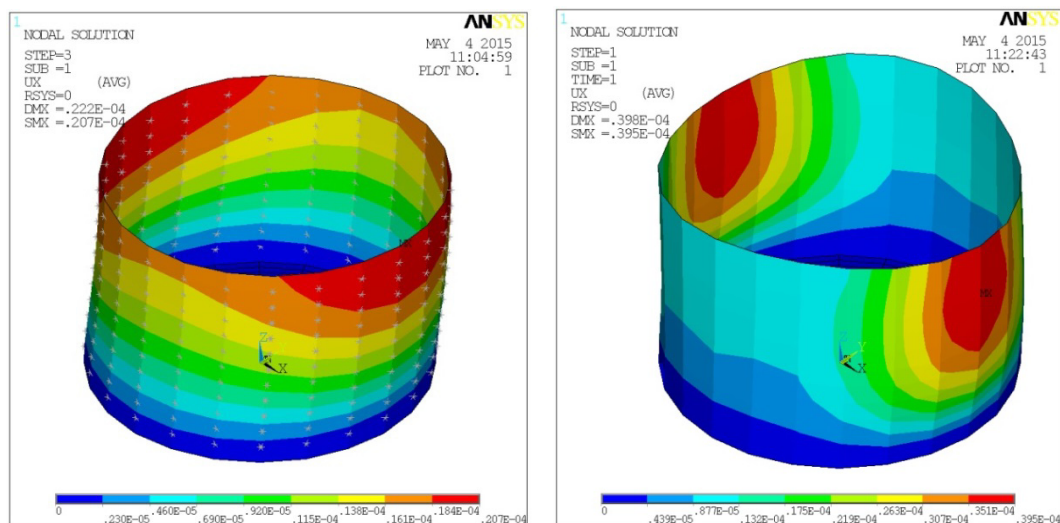
Samotný výpočet bol jednoduchý a rýchly. Išlo o statické riešenie konštrukcie od zaťaženia popísaného vyššie.

3.3 Výsledky výpočtu deformácií a vnútorných síl

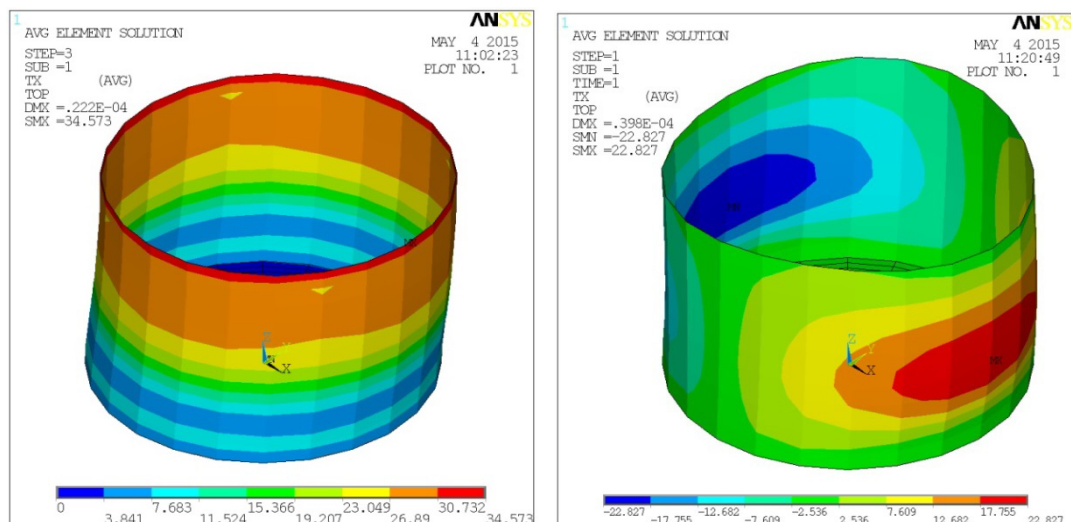
Z množstva výsledkov, ktoré sme získali, uvádzame na nasledujúcich obrázkoch deformácie a napätia, resp. ich prepočet na vnútorné sily. Jednotlivé riešenia pre model M1 a M2 sú vykreslené vedľa seba pre ich vzájomné lepšie porovnanie.

Na obr.3 je porovnaná deformácia konštrukcie. Ide o posunutia v smere osi X . Hodnoty sú $0,02\text{mm}$ pre model M1 a $0,039\text{mm}$ pre model M2. V prípade M2 došlo k väčšiemu pretvoreniu

pôvodného kruhu pri hornom povrchu na užšiu elipsu ako pri modeli M1. Tým aj porovnávané maximálne vodorovné posunutia sú skoro dvojnásobné.



Obr. 3: Deformácia (m) steny valcovej nádrže – model M1 vľavo a model M2 vpravo

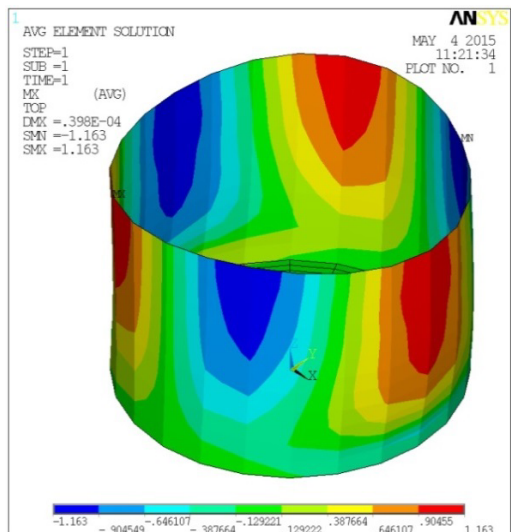
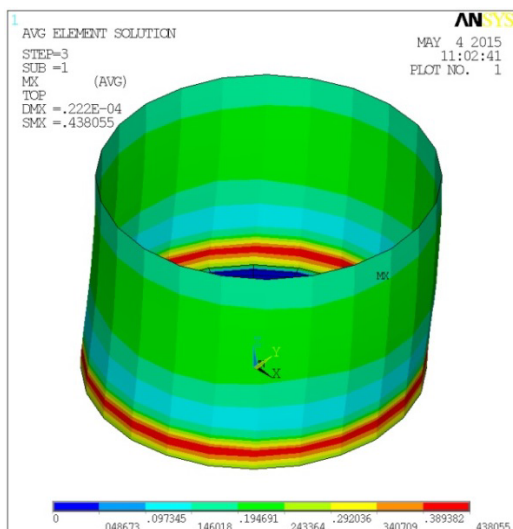


Obr. 4: Obvodové ťahy v stene valcovej nádrže – model M1 vľavo a model M2 vpravo

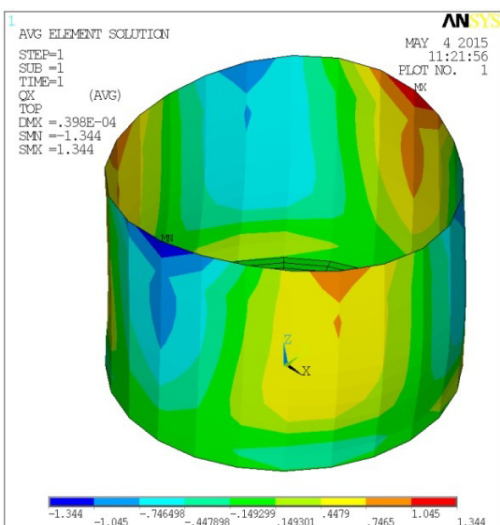
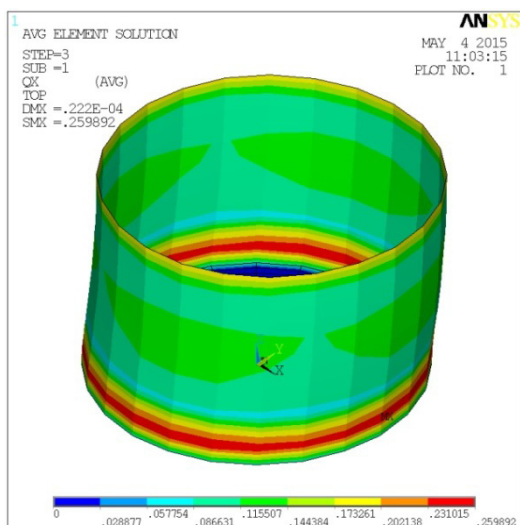
Na obr. 4 sú graficky vyhodnotené obvodové ťahy. V modeli M1 je maximum pri hornom okraji s hodnotou 34,5 kN/bm a v modeli M2 dochádza k maximálnym ťahom v strednej časti s hodnotou 22,8 kN/bm.

Na obr. 5 a 6 sú postupne vykreslené merné ohybové momenty po výške steny nádrže a nasledovne merné priečne sily po výške steny nádrže.

Pri porovnaní výsledkov nám dáva väčšie hodnoty porovnávaných veličín model M2, ktorý je jednoduchší, menej náročný na výpočet a s vyššími hodnotami skúmaných veličín je aj na strane bezpečnej.



Obr. 5: Ohybové momenty (kNm/bm) v stene nádrže – model M1 vľavo a model M2 vpravo



Obr. 6: Priečne sily (kN/bm) v stene nádrže – model M1 vľavo a model M2 vpravo

4 ZÁVER

Pri porovnávaní výsledkov je potrebné si uvedomiť, že skúmané zaťaženie nie je osovo symetrické a preto aj výsledky nie sú osovo symetrické ako pri statickom riešení kruhovej nádrže. Z predložených výsledkov môžeme usúdiť, že minimálne a maximálne hodnoty vnútorných síl a deformácií sú celkom vyrovnané. Model M2 je konzervatívnejší, preto sú aj hodnoty vnútorných síl väčšie oproti modelu M1.

POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol za finančnej podpory grantovej agentúry MŠ SR ako projekt VEGA 01/0544/15. Prepojenie vedeckého výskumu a stavebnej praxe umožnila spoločnosť Bioplyn Budča spol. s.r.o., Elektrárenská 1, 831 04 Bratislava. Zodpovedný: Ing. Viliam Bendel, Šípová 3/A, Bratislava, tel.č. +421 903900654, e-mail: bendel@europea.sk.

LITERATÚRA

- [1] BALENDRA, T., ANG, K.K., PARAMASIVAM, P., LEE, S.L.: *Seismic design of flexible cylindrical liquid storage tanks*. (1982) Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 10 (3), pp. 477-496.
- [2] FUJITA, K., SAITO, A.: *Free vibration and seismic response analysis of a liquid storage thin cylindrical shell with unaxisymmetric attached mass and stiffness*. (2003) American Society of Mechanical Engineers, Pressure Vessels and Piping Division (Publication) PVP, 466, pp. 243-252.
- [3] KOTRASOVÁ, K., KORMANÍKOVÁ, E.: *Frequency analysis of fluid in rectangular ground-supported tank*, 12th International Multidisciplinary Scientific GeoConference and EXPO, SGEM 2012; Varna; Bulgaria; Volume 3, 2012, Pages 693-698, 17 June 2012.
- [4] KOTRASOVÁ, K., KORMANÍKOVÁ, E.: *Frequency analysis of the base plate on Winkler model subsoil model*, Pozemné komunikácie a dráhy 1-2/2010 roč. 6, ISSN 1336-7501. (in Slovak)
- [5] MISTRÍKOVÁ, Z., JENDŽELOVSKÝ, N.: *Effect of subsoil models for deformation and tension of the base plate*, Civil and Environmental Engineering, 2007, No.2, pp. 139-148, ISSN 1336-5835. (in Slovak)
- [6] MOSLEMI, M., KIANOUSH, M. R.: *Parametric study on dynamic behavior of cylindrical ground-supported tanks* Engineering Structures, Volume 42, September 2012, Pages 214-230.
- [7] MRÓZEK, M., NEVAŘIL, A., ČADA, Z., BRAŤKA, M.: *Contemporary approaches to seismic analysis of tank with fluid*, In: Engineering mechanics 2009: National conference with international participation. Svratka, ČR, 11.-14.5.2009. Praha, Czech Republic, 2009. pp. 186-187. ISBN 978-80-86246-35-2.
- [8] SALAJKA, V. *The response of a liquid reservoir to seismic excitation*. In Technické listy 2007. 1. Brno, Czech Republic: 2007. s. 1-2. ISBN: 978-80-01-04176- 5. (in Czech)
- [9] SUMEC, J., JENDŽELOVSKÝ, N.: *Seismic analysis of reinforced concrete water tank*, In Proceedings of the 4th International Conference on Dynamics of Civil Engineering and Transport structures and Wind Engineering DIN-WIND 2008.
- [10] STN EN 1998 – 1, *Navrhovanie konštrukcií na seizmickú odolnosť*, časť 1: Všeobecné pravidlá, seizmické zaťaženia a pravidlá pre budovy. Bratislava, SÚTN, 2005.
- [11] STN EN 1998 – 4, *Navrhovanie konštrukcií na seizmickú odolnosť*, časť 4: Silá, nádrže a potrubia. Bratislava, SÚTN, 2010.